

УДК 532.135

Д.Н. Кашуба, асп., А.Д. Коваль, канд.техн.наук, доц., Б.О. Яхно, канд.техн.наук  
НТУ України «Київський політехнічний інститут», г.Київ, Україна

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ МАСЕЛ

*Проведені реологічні дослідження автомобільних масел за різних температур. Визначення характеристик проводилося за допомогою приладу Реотест 2. В результаті проведених досліджень зроблені висновки про те, що масла, які розглядалися, при визначених умовах можна розглядати як аномально-в'язкі рідини.*

*Are carried out rheologicals researches of automobile oils at various temperatures. Studying of characteristics was carried out on device Reotest 2. As a result of the carried out researches conclusions are made, that the considered oils under certain conditions can be considered as abnormal - viscous liquids.*

### Введение

Как известно [1] используемые в промышленности (в системах гидропривода, автомобилестроения, авиапромышленности и т.п.) технические масла должны соответствовать определенным свойствам, среди которых основными являются эксплуатационные, физические (тепловые), экологические и реологические.

Реологические свойства связаны с вязкостью, вязкостно-температурными, релаксационными, адгезионными и другими характеристиками масел. Этим может быть объяснен большой интерес при выборе для эксплуатации именно этих свойств.

В зависимости от условий эксплуатации, применяемые в автомобилях масла, можно разделить на моторные, трансмиссионные и гидравлические, каждое из которых имеет свою область применения.

Так, например, моторные масла могут быть предназначены для бензиновых двигателей, для дизелей и для малой техники, а трансмиссионные для автоматических трансмиссий и для автоматических коробок передач. Гидравлические же предназначены для систем гидропривода строительных, дорожных, лесозаготовительных, подъемно-транспортных и других машин или используются в качестве рабочей жидкости в телескопических стойках и амортизаторах грузовых и легковых автомобилей.

Масла могут быть минеральными, полусинтетическими и синтетическими, т.е. иметь отличие в молекулярном строении своей основы. Синтетические масла "создаются" с заданными эксплуатационными свойствами. Например, синтетические масла отличаются от минеральных более высокой химической и термической стабильностью, а также текучестью и проникающей способностью. При работе с синтетическими маслами не происходит каких-либо химических превращений (окисления, парафинизации и т.п.), а следовательно сохраняется оптимальное значения вязкости в широком диапазоне температур.

К типичным характеристикам масел относится

- кинематическая вязкость, мм<sup>2</sup>/с;
- плотность, кг/м<sup>3</sup>;
- индекс вязкости;
- щелочное число, мг КОН/г;
- температура вспышки в открытом тигле, °С;
- температура застывания, °С.

### Анализ состояния исследований рабочих жидкостей

При эксплуатации масел в определенных режимах важно знание вязкости и факторов на неё влияющих (температура, давление, скорость сдвига, касательное напряжение).

В большинстве случаев вязкость масел зависит в основном от трех величин: температуры, давления, градиента скорости. Если масло представляет собой ньютоновскую жидкость, то  $\mu = f(T, p)$ , т.е. температуры и давления. В соответствии с данными Роллинга, Флетчера, Ваттермана [4] такая зависимость может быть представлена в виде то есть в виде уравнения гиперболического параболоида.

$$\log \mu = \frac{A_0}{T^x} + C \frac{p^\alpha}{T^x} + D p^\alpha + B_0,$$

Реологические свойства смазывающей жидкости во многом влияют на износостойкость узлов трения. Так, например, для системы смазки «цилиндр-плоскость» коэффициент трения [2]  $C_{тр}$  определяется как

$$C_{тр} = 0,76 (\mu u L / N)^{0,5},$$

где  $u$  - скорость;  $L$  - длина поверхности;  $N$  - усилие, действующее на поверхности, т.е. является функцией величины  $\mu$ .

Сила трения, действующая в подшипнике скольжения, в первом приближении может быть определена как функция вязкости по формуле Петрова [3]

$$F = \frac{M_{mp}}{R_1} = \mu \frac{SU}{h + \frac{\mu}{C_{f1}} + \frac{\mu}{C_{f2}}},$$

где  $M_{mp}$  - момент трения;  $\mu$  - коэффициент динамической вязкости;  $S = 2\pi R_1 H$  - полная поверхность контакта с маслом;  $U_1 = \omega_1 R_1$  - окружная скорость;  $h = R_2 - R_1$  - расстояние между цилиндрическими поверхностями.

Для случая  $C_{f1} = C_{f2} = \infty$ , то есть когда смазывающая жидкость полностью прилегает к поверхности, формулу для определения силы трения можно записывают в виде

$$F = \mu \frac{S_1 \omega_1 R_1}{h}.$$

Следует отметить, что данная формула была получена для ньютоновской жидкости при условии, что  $\mu = const$ .

В том случае, когда величина  $\mu$  не является величиной постоянной, возникает необходимость корректировки, как данной формулы, так и ей подобных. С целью выяснения целесообразности такой корректировки были проведены исследования реологических характеристик некоторых моторных и трансмиссионных масел. Эти масла имеют минеральную, синтетическую или полусинтетическую основу, см. табл.1. Это необходимо учитывать при решении задач смазки трущихся поверхностей (проблемы триботехники).

#### Анализ результатов исследуемой вязкости

Реологические исследования, выполнены на ротационном вискозиметре Реотест 2.1 с измерительным устройством типа «цилиндр – цилиндр» в диапазоне градиентов скоростей 16 - 1320 с<sup>-1</sup>.

Таблица 1

Характеристики исследуемых масел

Тип	Основа	Область применения
<b>МОТОРНЫЕ</b>		
<b>PENNASOL</b> SAE 5W-40	Синтетическое	Бензиновые и дизельные автомобили с турбо зарядкой и без турбо зарядки. Для катализаторных автомобилей и для моторов с много клапанной технологией.
<b>YUKOIL</b> SAE 10W-40	Полусинтетическое	Для высокофорсированных бензиновых и дизельных двигателей легковых автомобилей и микроавтобусов.
<b>BAMF ULTRA SEMISYNTHETIC</b> SAE 10W-40	Полусинтетическое	Бензиновые двигатели и дизели, которые работают в легких условиях и требуют применения масел классификации API SJ/CF
<b>«ЛАДА-ЛЮКС»</b> ДИЗЕЛЬ SAE 15W-40	Нет данных	Дизельные двигатели
<b>«ЛАДА-ЛЮКС»</b> SAE 15W-40	Нет данных	Для бензиновых двигателей легковых автомобилей, микроавтобусов
<b>GROM-EX DRIVE</b> SAE 15W-40	Минеральное	Для двигателей легковых автомобилей, микроавтобусов
<b>FORSAGE</b> SAE 15W-40	Минеральное	В среднефорсированных карбюраторных и дизельных двигателях без наддува
<b>ОКЕАН LUX POWER</b> SAE 20W50	Минеральное	Для бензиновых и дизельных двигателей легковых автомобилей, микроавтобусов и другой техники
<b>ТРАНСМИССИОННЫЕ</b>		
<b>ТАД-17</b> ГОСТ 23652-79	Минеральное	Смазка цилиндрических, конических, червячных, спирально-конических и гипoidных передач
<b>НИПРОЛ</b> (ТУ 38. 101529-2001)	Изготавливается с использованием вязких продуктов прямой перегонки нефти	Смазка агрегатов трансмиссий грузовых автомобилей и тракторов

Для кольцевого слоя исследуемого масла, расположенного на расстоянии  $r$  от оси вращения (рис.1), градиент скорости равен  $\dot{\gamma} = r \frac{d\omega}{dr}$ , а тангенциальная сила в соответствии с законом Ньютона

$$F_r = \mu r \frac{d\omega}{dr} 2\pi r L.$$

Эта сила создает на радиусе  $r$  крутящий момент, который уравнивается равным и направленным в

противоположную сторону моментом

$$M_{кр} = 4\pi L \mu \omega \frac{R_n^2 R_{вн}^2}{R_n^2 - R_{вн}^2}.$$

Для прибора расчетными являются следующие соотношения

$$\tau = \frac{M_{кр}}{2\pi L R_{вн}^2} \text{ - касательное напряжение; } \dot{\gamma} = \frac{2\omega R_n^2}{R_n^2 - R_{вн}^2} \text{ - скорость сдвига.}$$

Зная величину  $M_{кр}$ , значение динамической вязкости можно определить как функцию угловой скорости наружного цилиндра, т. е.

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{M_{кр}}{\omega} \frac{R_n^2 - R_{вн}^2}{R_n^2 R_{вн}^2} \cdot \frac{1}{4\pi L},$$

где  $M_{кр}$  - крутящий момент;  $\omega = \frac{\pi n}{30}$  - угловая скорость;  $n$  - частота вращения;  $R_n$  и  $R_{вн}$  - радиусы наружного и внутреннего измерительного цилиндров соответственно,

$L$  - длина измерительного цилиндра.

Следует отметить, что для определения момента трения в подшипниках получена формула

$$M_{тр} = 2\pi r^2 \mu \frac{\omega}{\delta},$$

где  $\delta = R_n - R_{вн}$  - толщина слоя жидкости,  $\omega$  - угловая скорость.

Результаты реологических исследований проведенных для автомобильных масел, представленных в табл.1. при температурах 20, 30, 50 и 80°C при скоростях сдвига 16 -1320 с<sup>-1</sup>. представлены в табл.2. Построение реологических кривых в логарифмической системе координат (рис. 2), позволило определить реологические константы в степенном законе Освальда-де-Вилля

$$\tau = k \dot{\gamma}^n,$$

где  $k$  - мера консистенции жидкости,  $n$  - показатель степени, характеризующий неньютоновские свойства материалов.

На рис.2, в качестве примера, приведены реологические кривые минерального масла GROM-EX DRIVE, SAE 15W-40.

Как видно из табл.2 почти все масла имеют показатель степени близкий к единице. Это позволяет говорить, учитывая погрешность прибора и возможную погрешность измерений, что реологические свойства масел близки к ньютоновским. Однако у масел YUKOIL SAE 10W-40, BAPI ULTRA SEMISYNTHETIC, «ЛАДА-ЛЮКС» ДИЗЕЛЬ SAE 10W-40, «ЛАДА-ЛЮКС» SAE 15W-40 заметно уменьшение показателя степени  $n$ , при повышении температуры, следовательно, данным маслам присущи псевдопластичные свойства, то есть, эти масла все же стоит отнести к неньютоновским жидкостям. Это значит, что у реальных масел вязкость является функцией не только температуры, но и градиента скорости, а следовательно вязкость данных масел будет изменяться при изменении частоты вращения вала.

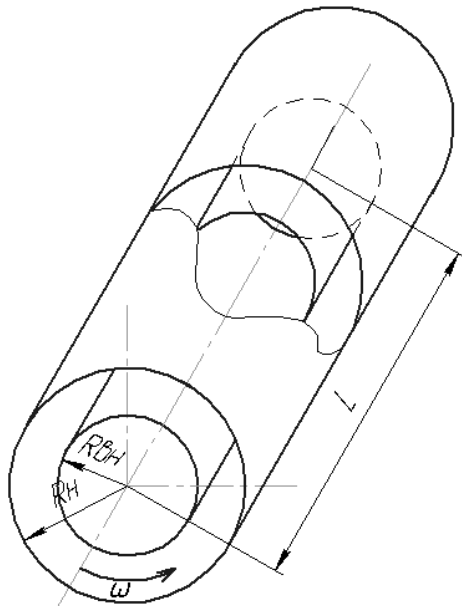


Рис. 1. Схема течения жидкости в зазоре между коаксиальными цилиндрами

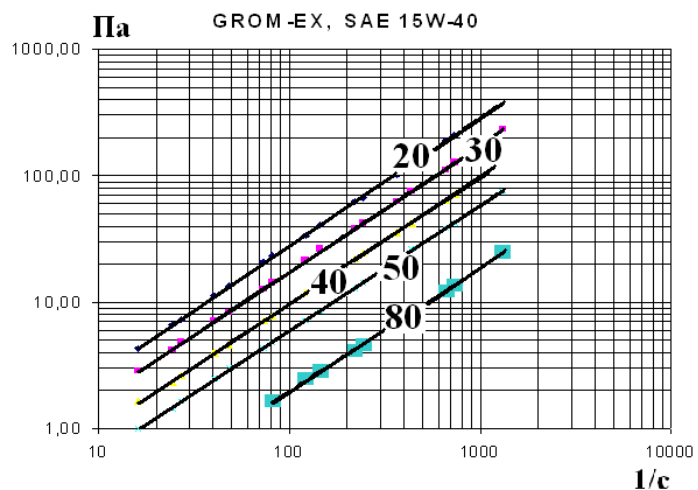


Рис. 2. Реологические кривые минерального масла GROM-EX DRIVE, SAE 15W-40

Таблица 2

## Результаты реологических исследований

Масло	Температура, °C	Реологические параметры	
		k	n
<b>PENNASOL</b> SAE 5W-40	20	0,13680	0,99820
	30	0,06960	0,98000
	50	0,05250	0,97300
	75	0,02260	0,99860
<b>YUKOIL</b> SAE 10W-40	20	0,25810	0,99490
	30	0,17860	0,96780
	40	0,12110	0,94330
	50	0,09090	0,92660
	80	0,02660	0,96230
<b>БМП ULTRA</b> <b>SEMISYNTHETIC</b> SAE 10W-40	20	0,20000	0,99710
	30	0,15600	0,96920
	50	0,07280	0,94870
	80	0,04280	0,88010
«ЛАДА-ЛЮКС» ДИЗЕЛЬ	20	0,3958	1,0121
	30	0,2515	0,9813
	50	0,0935	0,9618
	80	0,0297	0,9593
«ЛАДА-ЛЮКС» SAE 15W-40	20	0,1822	1,0038
	30	0,1333	1,0056
	50	0,0549	0,9820
	80	0,0685	0,7636
<b>GROM-EX</b> SAE 15W-40	20	0,2611	1,0144
	30	0,1776	0,9969
	40	0,1006	0,9946
	50	0,0630	0,9886
	80	0,0230	0,9691
<b>FORSAGE</b> SAE 15W-40	20	0,18450	1,00120
	40	0,07350	0,99890
<b>ОКЕАН LUX POWER</b> SAE 20W50	20	0,2889	1,0098
	30	0,2252	0,9989
	50	0,0816	0,9907
	80	0,0267	0,9852
<b>ТАД-17</b> ГОСТ 23652-79	20	0,6001	1,0069
	30	0,3956	1,0117
	50	0,1422	0,9673
	80	0,0373	0,9704
<b>НИГРОЛ</b> (ТУ 38. 101529-2001)	20	2,3509	0,9898
	30	1,0737	1,0479
	50	0,3340	0,9748
	80	0,0702	0,9923

**Выводы**

Таким образом, уточнение реологических свойств автомобильных масел, используемых в процессах гидродинамической смазки трущихся поверхностей, дает возможность корректнее провести расчет сил трения, а следовательно точнее оценить влияние этих свойств на КПД двигателя или силовых агрегатов. Такие выводы основаны на том, что на практике подобного рода жидкости рассматриваются как ньютоновские, в то время как опыты показали, что они могут проявлять аномалию, особенно это сказывается для каждой из жидкостей при определенных рабочих температурах.

**Список литературы**

1. В.А.Трофимов, О.М.Яхно, А.П.Губарев, Р.И.Солонин. Рабочие жидкости систем гидропривода. – К.: НТУУ «КПИ», 2009. -184с.
2. Чихос Х. Системный анализ в триботехнике, – М., Мир, 1982, 352с.
3. Войтов В.А., Яхно О.М., Аби Сааб Ф.Х. Принципы конструктивной износостойкости узлов трения гидромашин. – К., 1999, Віпол, 192с.
4. Яхно О.М., Дубовицкий В.Ф. Основы реологии полимеров.- Издательское объединение «Вища школа», 1976, 188 с.